

## Q 1 顎関節負荷の調節における側頭筋後部の機能 — 2次元剛体ばねモデルを用いた静力学的解析—

○阿部 誠<sup>1</sup>, 林 豊彦<sup>2</sup>, 伊藤 健一<sup>3</sup><sup>1</sup>新潟大学大学院 自然科学研究科, <sup>2</sup>新潟大学工学部 福祉人間工学科<sup>3</sup>新潟工科大学 情報電子工学科

### 1. まえがき

咀嚼やかみしめ動作では上下顎歯列間に力(咬合力)が加わる。それと同時に、顎関節にも圧縮力(顎関節負荷)が加わることが知られている[1-4]。この顎関節負荷は、顎関節の成長の促進、正常な機能と構造の維持などの機能があるとされているが、一方では顎関節症の原因の一つともされている[5]。このことから、正常な顎関節では、負荷が何らかの方法で制御・抑制されているものと考えられる。

その抑制メカニズムの解明を目的として、著者らは、咀嚼筋の協調活動による顎関節負荷の調節性について2次元静力学的に解析してきた[2-4]。その結果、咬筋と側頭筋前部の活動バランスにより、咬合力に対する顎関節負荷の比を最小にできることを明らかにした[2]。しかし咬合部位が同じでも、強い噛みしめ時には、咬筋の筋電図活動が側頭筋前部に比べ著しく増加することから[6]、咬合力の大きさによっては、必ずしも顎関節負荷が最小化されていない可能性がある。そこで、強い噛みしめ時に咬筋と同じように活動が急増する側頭筋後部に着目し、その機能を顎関節負荷の調節性の観点から分析した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 2次元静力学的モデル

図1に解析に用いた2次元剛体ばねモデルを示す。シミュレートする咀嚼筋は、咬筋(内側翼突筋を含む)、側頭筋、外側翼突筋とし、咬合力の作用点(咬合点)は第1大臼歯咬合面上の1点、咬合力ベクトルの方向は咬合平面に垂直とした。上下顎はともに2次元剛体とし、筋力と咬合力はすべて2次元ベクトルで表現した。簡単のため、咬合点は咬合平面上を無拘束で前後移動できるものとした。図2に顎関節円板のばねモデルを示す。顎関節円板は、剛体間を結ぶ有限個のばね列で表現した[1-4]。ここで、各ばねは圧縮力にだけ抵抗するものとする。本モデルの幾何学的パラメータ、筋力、ばね定数の値は、従来の報告[2-4]に準じて設定した。

#### 2.2 実験手順

シミュレートとする動作は、左右側同じ部位での1点噛みしめとした。本モデルに筋力ベクトルを代入し、静力学的平衡条件を満たす咬合力と下顎の位置と姿勢(下顎位)を反復的に求めた[4]。下顎位から全ばね要素の力(関節円板の圧縮応力分布)が得られ、全応力ベクトルの総和を顎関節負荷にした。

まず、基準となる筋力[2-4]をモデルに代入し、咬合力の基準値を求めた。次に、咬合力ベクトルと外側翼突筋筋力ベクトルを固定、咬筋筋力の大きさを基準値の30[%]~130[%]の範囲で変化し(変化幅1[%])、側頭筋筋力と円板の応力分布(顎関節負荷)をモデルより算出した。この実験を、側頭筋筋力の方向角 $\phi_i$ (図1)を89.5°, 94.5°, 99.5°, 104.5°, 109.5°の4通りに変化して繰り返した。

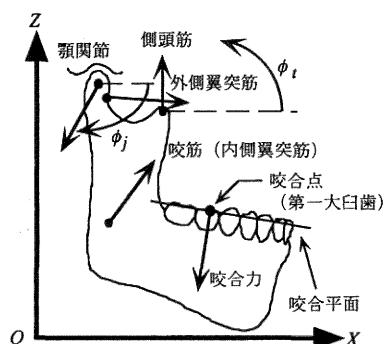


図1 2次元静力学的モデル

Fig. 1 Two-dimensional static jaw-model.

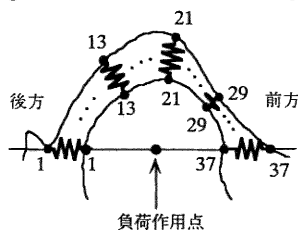


図2 顎関節の剛体ばねモデル

Fig. 2 A rigid-body-spring model of the temporomandibular joint (TMJ).

### 3. 結果

図3に、側頭筋筋力の各方向 $\phi_i$ に関する咬筋筋力と顎関節負荷の大きさおよび方向角 $\phi_j$ の関係を示す。 $\phi_i$ が一定のとき、顎関節負荷の大きさ(図3(a))は、ある咬筋筋力で最小となり、最小値は $\phi_i$ が大きいほど小さくなった。一方、方向角 $\phi_j$ (図3(b))は、咬筋筋力の増加につれて減少し(方

向が後方移動), 同じ咬筋筋力では  $\phi_i$  が大きいほど増加した(方向が前方移動)。

図4に, 顎関節負荷最小時における円板の応力分布を示す。ここで側頭筋筋力の方向は,  $\phi_i = 89.5^\circ$ ,  $109.5^\circ$  とした。両者とも応力は円板の中央狭窄部を中心に分布していたが,  $\phi_i$  が大きいほど, すなわち側頭筋筋力の方向が後方を向くほど, 最大圧縮応力が小さく, かつ分布の分散が大きかった。

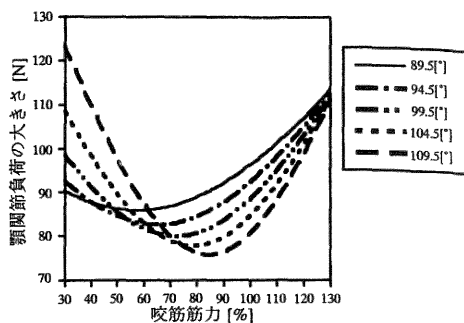
#### 4. 考 察

両側かみしめ動作に関する従来の報告 (Pruim, 1978) [4]によれば, 咬合力の増加に伴い, 咬筋, 側頭筋(前部, 後部)および顎二腹筋の筋活動(積分EMG)も増加するが, 最大咬合力60%以上では, 特に咬筋, 側頭筋後部, 顎二腹筋の活動が急増することが知られている。このことは, 咬合点および咬合力の方向が同じでも, 咬合力の強さによって咀嚼筋活動のバランス, すなわち筋張力の比が変化する可能性を示唆している。その機能的意味について, 本実験の結果を用いて論じる。

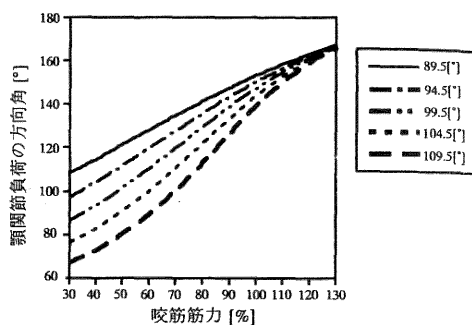
強い咬合力の発揮には咬筋活動の増加が不可欠であるが, あるレベル以上の増加は, 咬合力に対する顎関節負荷の比を増加させ, かつ円板の応力分布を前方肥厚部方向に偏位させることになる(図3)。ところが本実験結果(図3)から, 咬筋と同時に側頭筋後部の活動も増加し, 側頭筋筋力ベクトルを後方変位するようにすれば, 顎関節負荷の増加と応力分布の前方偏位をともに軽減できることがわかる。さらに, 円板中の応力分布を分散させる働きもある(図4)。このように, 強いかみしめ時における, 咬筋に同期した側頭筋後部活動の急増は, 少なくとも顎関節負荷の調節性の観点からは合目的な活動と考えられた。顎二腹筋の活動を含めたより詳細な分析が今後の課題である。

#### 文 献

- [1] 篠崎直樹: 咬合状態の違いに対する顎関節の力学的応答, 口腔病学会誌, 59(4), pp.681-699, 1992.
- [2] 伊藤建一, 林豊彦, 他: 咀嚼筋による顎関節負荷の調節性 - 2次元剛体バネモデルを用いた静力学的解析, バイオメカニズム学会編 バイオメカニズム13, pp.227-236, 東京大学出版会, 1996.
- [3] K. Itoh, T. Hayashi, et al.: Controllability of temporomandibular joint loading by coordinative activities of masticatory muscles: A two dimensional static analysis, *Frontiers Med. Biol. Engng.*, 18(2), pp.123-138, 1997.
- [4] 伊藤建一, 林豊彦, 他: 顎関節負荷の調節における咀嚼筋の機能 - 2次元剛体バネモデルを用いた静力学的解析, 医用電子と生体工学, 36特別号, p.267, 1998.
- [5] 藍 稔: 顎機能異常 - 咬合からのアプローチ, 医歯薬出版, 1983.
- [6] G.J.Pruim, et al.: Jaw muscle EMG-activity and static loading of the mandible, *J. Biomechanics*, 11, pp.389-395, 1978.



(a) 負荷の大きさ



(b) 負荷の方向角  $\phi_j$

図3 咬筋筋力と顎関節負荷の大きさと方向との関係(咬合力の方向と大きさ一定): (a) 負荷の大きさ, (b) 負荷の方向角  $\phi_j$

Fig. 3 Relationship between the force of the masseter and TMJ loading (bite-force vector = const.): (a) the magnitude of TMJ loading; and (b) the direction of TMJ loading.



(a)  $\phi_i = 89.5^\circ$

(b)  $\phi_i = 109.5^\circ$

図4 顎関節負荷最小時における顎関節円板の圧縮応力の分布: (a) 側頭筋筋力の方向角  $\phi_i = 89.5^\circ$ , (b)  $\phi_i = 109.5^\circ$

Fig. 4 Distribution of compressive stress in TMJ disk in case that the magnitude of TMJ loading was minimized: (a) the direction of the temporalis,  $\phi_i = 89.5^\circ$ ; and (b)  $\phi_i = 109.5^\circ$ .